

EVALUASI KESTABILAN LUBANG BUKAAN DAN SISTEM PENYANGGAAN BERDASARKAN KLASIFIKASI GEOMEKANIKA PADA TAMBANG BATUBARA BAWAH TANAH SD-C2 LORI 1 DI PT. NUSA ALAM LESTARI, KOTA SAWAHLUNTO.

Yudi Andrian^{1*}, Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*yudi.andrian99@gmail.com

**bambangh@ft.unp.ac.id

Abstract. Underground mining is a mining system in which all activities take place below the earth's surface. In practice in the field, mining is carried out by making tunnels as access for lorries and opening paths and then opening branches using the Room and Pillar method. This research was conducted to determine rock strength, rock mass class, potential for wedge failure, stability of the hole opening, and recommendations for the appropriate support system based on rock mass rating and distance of the support. Based on the results of the analysis at a RMR value of 61,63 and 66 the FK value <1.5 using an average buffer distance of 2.01 m, it is necessary to change the distance between the supports to get a stable FK value (≥ 1.5). From the calculation results to achieve a stable FK value, at a RMR 61,63, and 66 the exact buffer distance ranges from 1.8 m - 2.1 m.

Keywords : Tunnel, Rock Mass Rating, Underground Mine, Wooden Support, Safety Factor

1. PENDAHULUAN

Tambang bawah tanah (*underground mining*) adalah suatu sistem penambangan yang segala aktivitasnya berlangsung di bawah permukaan bumi. Dalam pelaksanaannya, sistem penambangan ini dilakukan dengan cara membuat Terowongan, baik Terowongan sebagai *access development* maupun produksi. Menurut Ambarini (2015).

PT. Nusa Alam Lestari (PT.NAL) merupakan salah satu perusahaan pertambangan batubara yang melakukan sistem penambangan bawah tanah dengan menggunakan metode *room and pillar*. Pada metode ini, penambangan dilakukan dengan menggali lubang maju kemudian dibesarkan menjadi ruangan – ruangan dengan meninggalkan batubara sebagai tiang penyangga (*Coal Pillar*). Lubang maju merupakan jalur akses keluar masuknya lori dan jalur evakuasi. Apabila terjadi penutupan lubang diakibatkan ambruk akan mengganggu proses produksi dan menghambat proses evakuasi pekerja.

Pada SD-C2 Lori 1 penambangan pada lubang maju dilakukan pada arah N 190^oE dengan kemiringan lubang 20-40^o. Aktivitas penggalan suatu lubang bukaan akan menyebabkan kestabilan lubang bukaan terganggu sehingga struktur batuan di sekitar akan berubah sehingga terowongan akan runtuh apabila belum dilakukan identifikasi mengenai bidang-bidang lemah dan sistem

penyanggan yang tepat di berbagai kondisi struktur geologi dalam menahan massa batuan.

Massa batuan berbeda dengan kebanyakan material teknik, massa batuan bersifat Anistrop dan tidak menerus (Diskontinu). Penyebab massa batuan anistrop adalah terdapatnya bidang-bidang yang tidak menerus (*Plane of Discontinuities*). Dalam menganalisis kelas massa batuan ada beberapa aspek yang mempengaruhi kelas massa batuan diantaranya sifat fisik & mekanik batuan, kondisi air tanah dan bidang diskontinuitas. Banyaknya struktur bidang diskontinu pada terowongan akan berpotensi terjadinya runtuh baji.

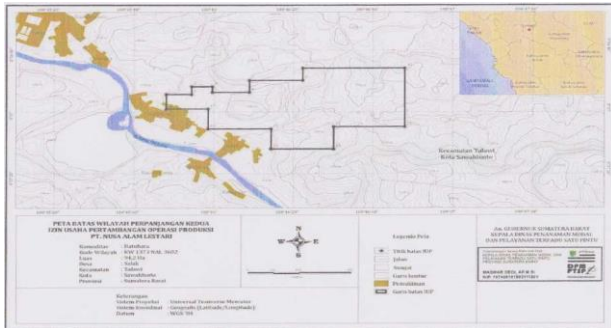
Dari hasil pengamatan dan pengukuran sistem penyangga di lapangan, rata-rata penyangga yang digunakan memiliki tinggi penyangga 2,4 m, panjang *Cap* atas 2,43 m, lebar kaki penyangga 2,9 m, ukuran keliling kayu penyangga bagian (*side post*) yaitu ± 67 cm, dan rata-rata jarak antar penyangga yaitu 2,01 m. Dari kondisi di atas diketahui bahwa jarak antar penyangga tidak sesuai dengan SOP perusahaan yang ditetapkan pada jarak 1 -1,5 m.

Selain itu, ditemukan Kayu penyangga Berjamur, lapuk dan Retak akan mengurangi kekuatan kayu penyangga menahan beban dan potensi ambruk pada lubang maju akan lebih besar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada PT. Nusa Alam Lestari Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Penelitian berfokus pada lubang maju SD-C2 Lori 1 yang merupakan jalur akses lori dan jalur evakuasi pekerja.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Sistem Rock Mass Rating (RMR)

Rock Mass Rating atau dikenal dengan *Geomechanics Classification* dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1989. Metode klasifikasi ini dengan menggunakan rating yang besarnya didasarkan pada pengalaman Bieniawski dalam mengerjakan proyek-proyek terowongan dangkal. Metode ini telah dikenal luas dan banyak diaplikasikan pada keadaan dan lokasi yang berbeda-bedaseperti tambang pada batuan kuat, terowongan, tambang batubara, kestabilan lereng, dan kestabilan pondasi.

Dalam analisis *Rock Mass Rating* ada 6 parameter yang menjadi acuan dalam pembobotan kelas massa batuan, diantaranya :

1. Kuat tekan uniaksial batuan utuh
2. *Rock Quality Designation* (RQD)
3. Spasi bidang diskontinu
4. Kondisi bidang diskontinu
5. Kondisi air tanah
6. Orientasi bidang diskontinu

Berikut ini penjelasan parameter RMR-System :

2.2.1 Kuat Tekan Batuan Utuh

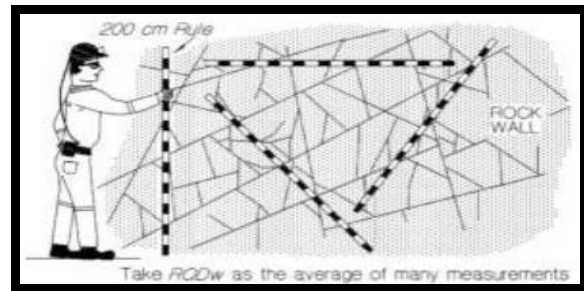
Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari uji *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) dan *Point Load Test* (PLI). Tujuan uji kuat tekan adalah untuk mengukur nilai kuat tekan sebuah sampel batuan dalam geometri yang beraturan, baik dalam bentuk silinder (tabung), balok atau tidak beraturan, sesuai dengan standar yang ada.

2.2.2 Rock Quality Design (RQD)

Perhitungan nilai RQD bisa didapat dari perhitungan langsung dari singkapan batuan yang mengalami retakan- retakan (baik perlapisan batuan maupun kekar atau sesar) dengan persamaan sebagai berikut :

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1) \quad (1)$$

* λ adalah rasio antara jumlah kekar dengan panjang scanline (kekar/meter).



Gambar 2. Prosedur Pengukuran Scanline

2.2.3 Spasi Diskontinuitas

Spasi bidang diskontinuitas didefinisikan sebagai jarak tegak lurus antara dua diskontinuitas berurutan sepanjang garis pengukuran yang dibuat sembarang.

2.2.4 Kondisi bidang diskontinu

Kondisi bidang diskontinu dapat diperkirakan dengan mengamati beberapa parameter, diantaranya :

- Kemenerusan (*Persistence/Continuity*)
- Bukaan/rekahan (*separation/aperture*)
- Kekasaran permukaan bidang diskontinu (*roughness*)
- Material pengisi (*Infilling /gouge*)
- Pelapukan (*weathering*)

2.2.5 Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah ditentukan dengan mengamati atap dan dinding terowongan secara visual. Kemudian kondisi air tanah yang ditemukan dapat dinyatakan sebagai keadaan umum seperti kering (*completely dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), terdapat tetesan air (*dripping*), atau terdapat aliran air (*flowing*).

2.2.6 Orientasi Bidang Diskontinuitas terhadap Arah Penambangan

Dalam koreksi nilai RMR selanjutnya dilakukan berdasarkan arah penggalian terowongan dan orientasi bidang diskontinu yang ada pada lokasi tersebut. Arah umum bidang diskontinu merupakan kedudukan relatif dari bidang diskontinu terhadap sumbu lintasan terowongan

Berdasarkan hasil pembobotan dari identifikasi 6 parameter diatas, hasil dari penjumlahan bobot dari setiap parameter di indikasikan sebagai nilai RMR. Kemudian nilai RMR digunakan untuk menentukan kelas massa batuan dengan menggunakan tabel klasifikasi massa batuan.

Tabel 1. Kelas Massa Batuan

Parameter	Bobot				
	81 – 100	61 - 80	41 – 60	21 – 40	< 20
Nilai RMR	81 – 100	61 - 80	41 – 60	21 – 40	< 20
Nomor Kelas RMR	I	II	III	IV	V
Nilai GSI	76 – 95	56 - 75	36 – 55	21 – 35	< 20
Kualitas Massa Batuan	Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk

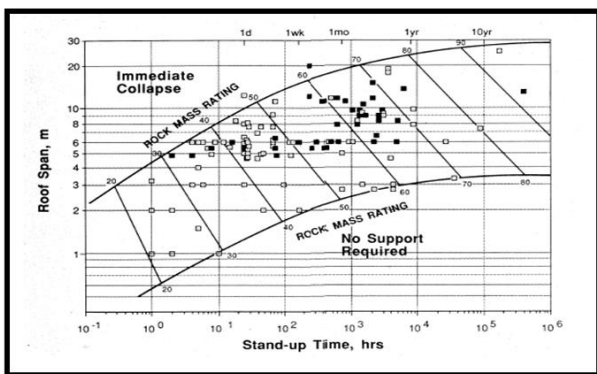
Tabel 2 Klasifikasi Massa Batuan

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	For this low range uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. Strength	>250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (see E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1mm Highly weathered walls	Slickenside surfaces or Gauge < 5mm thick or Separation 1-5 mm continuous	Split gauge > 5 mm thick Or Separation > 5 mm continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m Tunnel length (l/m)	None	< 10	10-25	25-125	> 125		
		(Joint water press)/ (Mayor principal σ)	0	< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		General Conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)									
Strike and dip orientations			Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable		
Rating	Tunnels and mines		0	-2	-5	-10	-12		
	Foundations		0	-2	-7	-15	-25		
	Slopes		0	-5	-25	-30			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating			100-81	80-61	60-41	40-21	< 21		
Class number			I	II	III	IV	V		
Description			Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock		
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number			I	II	III	IV	V		
Average stand-up time			20 yrs for 15 m span	1 year for 10 span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span		
Cohesion of rock mass (kPa)			> 400	300-400	200-300	100-200	< 100		
Friction angle of rock mass (deg)			> 45	35-45	23-35	15-25	< 15		
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence) Rating			< 1m 6	1-3 m 4	3-10 2	10-20 1	> 20 m 0		
Separation (aperture) Rating			None 6	< 0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 0		
Roughness Rating			Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0		
Infilling (gauge) Rating			6	Hard filling<4mm 4	Hard filling > 5mm 2	Soft filling<5mm 2	Soft filling>5mm 0		
Weathering Rating			Unweathered 6	Slightly weathered 5	Moderately weathered 3	Highly weathered 1	Decomposed 0		
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis None					Strike parallel to tunnel axis				
Drive with dip-Dip 45-90° Very favourable			Drive with dip-Dip 20-45° Favourable		Dip 45-90° Very unfavourable		Dip 20-45° Fair		
Drive against dip-Dip 45-90° Fair			Drive against dip-Dip 20-45° Unfavourable		Dip 0-20 – Irrespective of strike° Fair				

2.3 Analisis berdasarkan Rock Mass Rating (RMR)

2.3.1 Stand Up Time & Span

Stand Up Time merupakan lamanya batuan digali tanpa penyangga sedangkan span merupakan lebar terowongan terjauh yang bisa digali. Dalam penentuan Span dan Stand Up Time digunakan nilai RMR kemudian di plot pada gambar 3. Parameter Stand Up Time digunakan untuk evaluasi terhadap penggalian lubang maju untuk menjadi pedoman pada saat pemasangan penyangga kayu. Keakuratan Stand Up Time diragukan karena dipengaruhi oleh aktivitas penggalian, pelapukan, kondisi tegangan di berbagai kedalaman sehingga grafik hanya digunakan sebagai perbandingan semata.



Gambar 3. Span dan Stand Up Time

2.3.2 Rekomendasi Sistem Penyangga

Rekomendasi sistem penyanggan/ penguatan massa batuan dapat menentukan seberapa panjang terowongan yang aman tanpa disangga dengan waktu swasangganya. Selain itu, Bieniewski juga menentukan jenis, diameter, dan panjang dari baut batuan (rockbolt), jejaring besi (steel set), beton tembak (shotcrete), dan beton cor (concrete), seperti dijelaskan pada tabel di bawah.

Kelas RMR	Metode Penggalian	Baut Batuan (diameter 20 mm, fully grouted)	Beton Tembak	Stell Set
I	Full face, dengan kemajuan 3 m.	Secara umum tidak membutuhkan penyangga		
II	Full face, dengan kemajuan 1.5 - 3m. Pemasangan penyanggan penuh 20 m dari face	Baut batuan pada atap panjang 3 m, spasi 2.5 m, dengan penambahan wire mesh	50 mm pada atap	Tidak Dibutuhkan
III	Top heading and bench 1.5 - 3 m kemajuan pada top heading, penyanggan setelah peledakan. Penyanggan penuh 10 m dari face	Baut batuan panjang 4 m, spasi 1.5 - 2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh	50 - 100 mm pada atap, dan 30 mm pada dinding	Tidak Dibutuhkan
IV	Top heading and bench 1 - 1.5 m kemajuan pada top heading. Penyanggan segera pada saat penggalian. Penyanggan penuh 10 m dari face	Baut batuan panjang 4 m, spasi 1 - 1.5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh	100 - 150 mm pada atap, 100 mm pada dinding.	Ringan s/d medium dengan spasi 1.5 m
V	Multiple drift kemajuan 0.5 - 1.5m pada top heading. Pemasangan penyangga segera mungkin pada saat penggalian. Beton tembak segera mungkin setelah peledakan	Baut batuan panjang 5 - 6 m spasi 1 - 1.5 m pada dinding dan atap, serta pemasangan wire mesh	150 - 200 mm pada atap, 150 mm pada dinding, 50 mm pada face	Medium s/d berat dengan spasi 0.75 m. Forepolling jika dianggap perlu

Gambar 4. Rekomendasi Ground Support berdasarkan Nilai RMR

2.3.3 Estimasi Tinggi Runtuh & Beban Runtuh

Berdasarkan estimasi tinggi runtuh Unal (1983), Hasil nilai RMR dapat dilakukan perhitungan tinggi runtuh dan beban runtuh yang akan diterima penyangga. Ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

Tinggi runtuh (Ht)

$$H_t = \frac{(100 - RMR)}{100} \times B \quad (2)$$

Beban runtuh (P_{RMR})

$$P_{RMR} = \frac{(100 - RMR)}{100} \times \gamma \times B \quad (3)$$

Volume Beban Runtuhan (v)

$$v = H_t \times B \times \gamma \quad (4)$$

Keterangan:

- Ht = tinggi runtuh
- B = lebar terowongan (m)
- P_{RMR} = beban runtuh
- γ = densitas batuan (ton/m^3)

3. METODE ANALISIS

Penelitian ini merupakan penelitian yang bertujuan untuk membandingkan hasil analisis dan juga kondisi aktual di lapangan

3.1 Desain Penelitian

Secara umum penelitian ini menganalisis nilai FK (Faktor Keamanan) terowongan di berbagai kedalaman dan mendapatkan jarak penyangga stabil di berbagai kedalaman.

3.2 Jenis Penelitian

Menurut tujuannya penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan. Penelitian terapan (*applied research*) adalah penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah.^[16]

Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan teori perhitungan dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk angka.

3.3 Objek Penelitian

Adapun yang menjadi objek dari penelitian ini adalah Lubang Maju pada SD-C2 Lori 1 Dalam berdasarkan dari hasil observasi yang telah dilakukan perlu adanya penguatan penyanggan dikarenakan semakin dalamnya penambangan dan juga banyaknya struktur batuan yang berpotensi mengalami keruntuhan. Sehingga penulis tertarik untuk mengangkat judul penelitian dan mencari topik pada Lubang Maju SD-C2 Lori 1.

3.4 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi yang mengumpulkan data primer dan data sekunder. Data primer yang diambil berupa data yang berhubungan dengan terowongan lokasi penelitian, karakteristik massa batuan, jenis kayu penyangga yang digunakan. Sedangkan data sekunder diambil dari Arsip perusahaan

yang diminta secara langsung kepada pihak perusahaan berupa peta IUP, Lithology, Layout Penambangan, Rencana Penambangan.

3.5 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan mengambil data - data yang telah ada kemudian diolah untuk mendapatkan jawaban dari pertanyaan dalam penelitian. Adapun tahapan dalam pengolahan adalah analisis sifat fisik & mekanik, pembobotan kelas massa batuan menggunakan *RMR-System*, menghitung span dan stand up time, menentukan rekomendasi *ground suport* berdasarkan *RMR-system*, analisis terowongan menggunakan software *unwedge* & melakukan permodalan *ground support* berdasarkan *RMR-system*, analisis nilai FK di berbagai kedalaman pada sistem penyanggaan kayu, evaluasi jarak penyangga di berbagai kedalaman pada sistem penyanggaan kayu.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai rata rata dari batuan penyusun terowongan adalah sebagai berikut:

4.1.1 Sifat Fisik Batuan

Tabel 3. Sifat Fisik Batuan

No	Parameter	Siltstone	Coal
1	Bobot isi asli (gr/cm ³)	2.33	1.21
2	Bobot isi jenuh (gr/cm ³)	2.36	1.28
3	Bobot isi kering (gr/cm ³)	2.27	1.16
4	Berat jenis semu	2.27	1.16
5	Berat jenis asli	2.50	1.32
6	Kadar air asli (%)	2.48	4.50
7	Kadar air jenuh (%)	3.93	10.82
8	Derajat kejenuhan (%)	63.29	46.07
9	Porositas (%)	8.93	12.21
10	Angka pori	0.10	0.14

4.1.2 Sifat Mekanik Batuan

Tabel 4. Sifat Mekanik Batuan

Material	Kode Sampel	P (Kg)	Index Strength, Is (Kg/cm ²)	Index Strength, Is (Mpa)	Kuat Tekan Uniaksial, σc (MPa)
Coal	C1	161	11.86	1.16	13.74
	C2	135	11.23	1.1	13.01
	C3	163.4	12.78	1.25	14.8
	C4	139.7	10.42	1.02	12.07
	C5	133.9	10.61	1.04	12.29
Rata -Rata		146.6	11.38	1.12	13.18
SiltStone	S1	371.2	26.46	2.59	30.65
	S2	387.4	28.92	2.83	33.5
	S3	247.4	17.2	1.69	19.93
	S4	275.9	19.86	1.95	23
	S5	241.7	19.14	1.88	22.18
Rata -Rata		304.7 2	22.32	2.19	25.85

4.2 Klasifikasi Massa Batuan RMR-System

Pengambilan data bidang diskontinu dilakukan pada kemajuan 30,70, dan 160 yang diamati sepanjang 10 meter berikut merupakan tahapan analisis pada kemajuan 160 m.

4.2.1 Nilai Kuat Tekan Batuan

Dari hasil yang didapatkan diperoleh nilai rata-rata untuk nilai Index Strength (Is) Batubara adalah sebesar 1,12 Mpa dengan nilai konversi UCS sebesar 25,65. Dan nilai Index Strength (Is) Siltstone adalah 2.19 Mpa dengan nilai konversi UCS sebesar 50.31 Mpa. Berdasarkan hasil nilai Index Strength (Is) yang telah kita dapatkan kemudian di analisis dan dapat kita simpulkan bahwasanya batubara sudah masuk di rentang 1-2 Mpa dan diberi bobot 4, kemudian batuan *Siltstone* masuk ke dalam rentang antara 1-2 Mpa dan 2-4 diberi bobot 5.

4.2.2 Nilai RQD

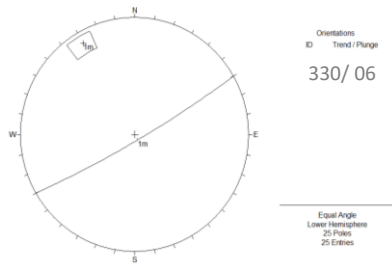
Tabel 5. Rock Quality Designation (RQD)

Chainage		RQD (%)		
Dari	Ke	Dinding Kiri	Atap	Dinding Kanan
0	1	80.80	98.24	73.57
1	2	84.40	98.24	84.40
2	3	87.80	98.24	90.97
3	4	90.97	96.30	93.84
4	5	96.30	99.53	90.97
5	6	93.84	98.24	80.80
6	7	93.84	98.24	77.20
7	8	80.80	98.24	93.84
8	9	77.20	98.24	77.20
9	10	87.80	98.24	84.40
Rata - rata		87.38	98.18	84.72

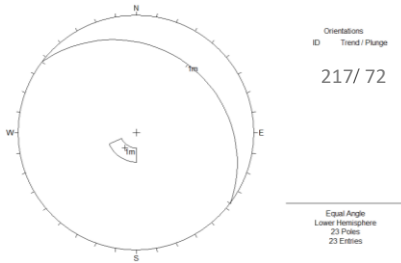
Dari hasil perhitungan RQD yang telah dilakukan pada batuan bagian atap, dinding kiri dan dinding kanan, didapatkan rata rata RQD dari lubang bukaan yaitu 97.22%, 98.18% dan 97.66%. dalam melakukan pembobotan penulis menggunakan RQD terkecil pada pembobotan RMR. Nilai RQD terkecil pada dinding kiri yaitu 87.38% dengan bobot 13, dinding kanan RQD terkecil 84.72% dengan bobot 13, kemudian bagian atap nilai RQD terkecil adalah 98.18% yaitu dengan bobot 20.

4.2.3 Orientasi Kekar Dominan

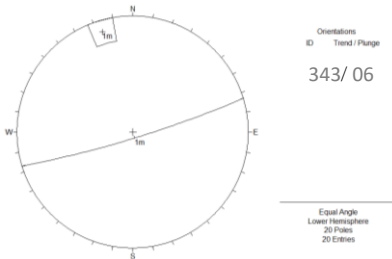
Dari hasil pengolahan data diskontinuitas pada kemajuan 160 menggunakan software DIPS, didapatkan pada bagian dinding kiri, kanan dan atap memiliki kekar dominan yaitu N 330° E/ 6°, N 217° E/ 72°, dan N 343° E/ 6° dengan arah kemajuan terowongan pada N 190° E. dari hasil analisis didapatkan bobot pada dinding kiri dan atap -5 dan pada dinding kanan -12.



Gambar 5. Orientasi Kekar Dominan Dinding Kiri



Gambar 6. Orientasi Kekar Dominan Dinding Kanan



Gambar 7. Orientasi Kekar Dominan Atap

4.2.4 Klasifikasi Massa Batuan

Pengambilan data bidang diskontinuitas dilakukan pada kemajuan 30, 70, dan 160 kemudian dilakukan pembobotan untuk memperoleh kelas massa batuan. Berikut merupakan hasil pembobotan kelas massa batuan seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Kelas Massa Batuan pada Atap

Parameter Klasifikasi RMR-sistem (Atap)					
No	Parameter	Rating			
		30m	70m	160m	
1	Rock Strength (UCS)	5	5	5	
2	Spacing of Discontinuities	10	10	10	
3	Rock Quality Design (RQD)	20	20	20	
4	Condition	Persistence	6	6	6
		Aperature	1	1	1
		Roughness	3	4	3
		Infilling	6	7	6
4	Weathering	6	6	6	
5	Ground Water	9	9	9	
6	Strike and dips of Joint set	0	-5	-5	
Total Rattng		66	63	61	
Kelas Massa Batuan		II <i>Good Rock</i>	II <i>Good Rock</i>	II <i>Good Rock</i>	

Tabel 7. Kelas Massa Batuan pada Dinding Kiri

Parameter Klasifikasi RMR-sistem (Dinding Kiri)					
No	Parameter	Rating			
		30m	70m	160m	
1	Rock Strength (UCS)	4	4	4	
2	Spacing of Discontinuities	8	8	8	
3	Rock Quality Design (RQD)	13	13	13	
4	Condition	Persistence	6	6	6
		Aperature	4	4	4
		Roughness	3	3	1
		Infilling	6	6	6
4	Weathering	6	6	6	
5	Ground Water	9	9	9	
6	Strike and dips of Joint set	-5	-5	-5	
Total Rattng		54	54	54	
Kelas Massa Batuan		III <i>Fair Rock</i>	III <i>Fair Rock</i>	III <i>Fair Rock</i>	

Tabel 8. Kelas Massa Batuan pada Dinding Kanan

Parameter Klasifikasi RMR-sistem (Dinding Kanan)					
No	Parameter	Rating			
		30m	70m	160m	
1	Rock Strength (UCS)	4	4	4	
2	Spacing of Discontinuities	10	10	10	
3	Rock Quality Design (RQD)	13	13	13	
4	Condition	Persistence	6	6	6
		Aperature	1	1	1
		Roughness	4	4	3
		Infilling	7	7	6
4	Weathering	6	6	6	
5	Ground Water	9	9	9	
6	Strike and dips of Joint set	-5	-5	-12	
Total Rattng		55	55	53	
Kelas Massa Batuan		III <i>Fair Rock</i>	III <i>Fair Rock</i>	III <i>Fair Rock</i>	

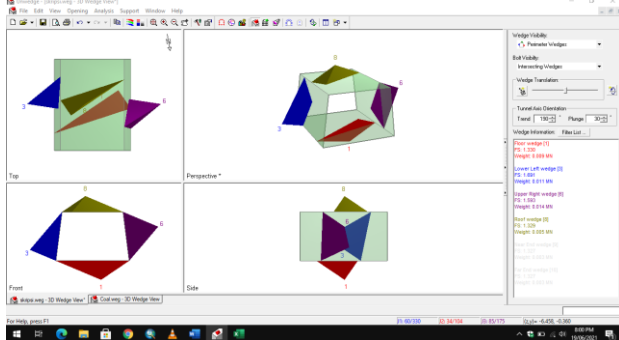
4.3 Kestabilan Terowongan berdasarkan Potensi Keruntuhan Baji

Pengolahan menggunakan Software Unwedge dibutuhkan data-data input seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 9. Input Data Software Unwedge

No	Input Data	Keterangan
1	Bentuk Terowongan	Trapesium
2	Dimensi Terowongan	2,5m x 3m
3	Kemiringan Terowongan	20°
4	Panjang Total Terowongan	160m
5	Kedalaman Terowongan	160 m
6	Bobot Isi	2,5 ton/m ³
7	Kohesi (c)	0.65 MPa
8	Sudut Geser Dalam (phi)	39.18

Parameter pada tabel 9 diolah menggunakan *software unwedge*. Berdasarkan dari *software Unwedge* akan didapatkan *safety factor* dan potensi runtuhnya baji dari parameter yang dimasukkan di dalam *software*. Berikut ini merupakan hasil dari pengolahan menggunakan *software Unwedge* yang dapat dilihat pada gambar Berikut ini.



Gambar 8. Analisis *Software Unwedge*

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan di *software Unwedge* didapatkan nilai *SF* (*Safety Factor*) dari

Tabel 10. Nilai *FK* pada terowongan

No	Bagian Lubang Bukaan	SF
1	Lower Left Wedge	1,691
2	Roof Wedge	1,329
3	Upper Right Wedge	1,593

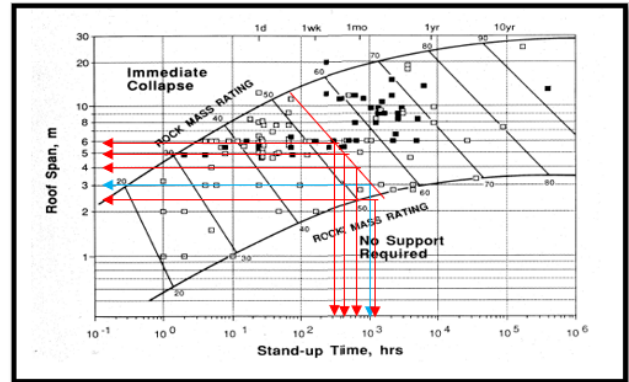
Berdasarkan tabel 10 diketahui bahwa Nilai *Safety Factor* sudah $>1,5$ sehingga lubang bukaan bisa dikatakan aman. Nilai *Safety Factor* Terendah yaitu bagian *Roof Wedge* yaitu dengan Nilai *FK* 1,329 nilai ini sudah $<1,5$ bisa dilakukan perkuatan untuk nilai *SF* yang sangat aman. Untuk melakukan perkuatan bisa didasarkan pada rekomendasi sistem penyanggan berdasarkan *RMR-System* yang kemudian kita aplikasikan ke *Software Unwedge*.

4.4 Rekomendasi Ground Support berdasarkan *RMR-System*

Dari hasil pembobotan kelas massa batuan menggunakan *RMR-System* diketahui kelas massa batuan dinding kiri dan kanan merupakan batuan kelas III dan batuan atap merupakan batuan kelas II. Dalam analisis *Span Maximum* dan *Stand Up Time* penulis mengambil kelas batuan terendah untuk memaksimalkan *Safety Factor* dari lubang bukaan yaitu dengan bobot *RMR* sebesar 53 bagian dinding (*Coal*) dan *RMR* sebesar 61 bagian atap (*Siltstone*).

4.4.1 *Span* dan *Stand Up Time*

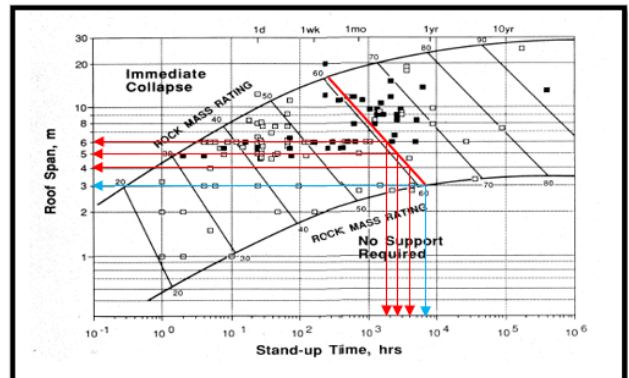
Stand up time dihitung menggunakan grafik hubungan antara *stand up time* dengan *span* untuk berbagai massa batuan berdasarkan klasifikasi geomekanik *Rock Mass Rating system*, Bieniawski (1990).



Tabel 11. *Stand Up Time* dan *Span* pada Dinding Batubara

RMR	Span	Stand Up Time
53	2.5	850
	3	700
	4	450
	5	230
	6	140

Berdasarkan hasil analisis pada tabel diatas dapat kita simpulkan *Span Maximum* dan *Stand Up Time* dari dinding batubara adalah 700 jam atau 29 Hari dengan lebar rencana lubang maju produksi adalah sebesar 3 meter.



Tabel 12. *Stand Up Time* dan *Span* pada Atap

RMR	Span	Stand Up Time
61	3	6700
	4	4000
	5	2500
	6	1800

Berdasarkan hasil analisis pada tabel diatas dapat kita simpulkan *Span Maximum* dan *Stand Up Time* dari atap lubang bukaan adalah 6700 jam atau 279 Hari dengan lebar rencana lubang maju produksi adalah sebesar 3 meter.

4.4.2 Rekomendasi Ground Support berdasarkan *RMR-System*

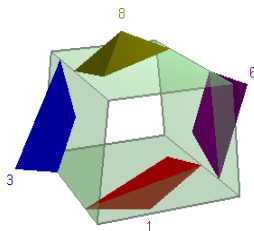
Dalam analisis, nilai *RMR* terendah yaitu 53 batuan kelas III rekomendasi sistem penyanggan yang digunakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 13. Rekomendasi Ground Support Berdasarkan RMR-System

Klasifikasi	Hasil
RMR 53	<ul style="list-style-type: none"> - Batuan kelas III - Metode penggalian, <i>Top heading and bench</i> 1.5 - 3 m kemajuan pada <i>top heading</i>, penyangga setelah peledakan. Penyanggaan penuh 10 m dari <i>face</i>. - Baut Batuan (diameter 20 mm, <i>fully grouted</i>), baut batuan panjang 4m, spasi 1.5 - 2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan <i>wire mesh</i> - Beton Tembak (Shotcrete), tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding - <i>Stell Set</i>, tidak dibutuhkan

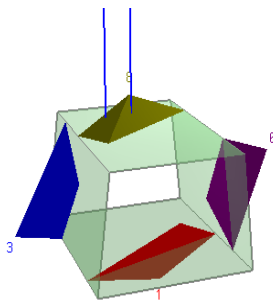
4.5 Permodelan Ground Support berdasarkan RMR-System menggunakan Software Unwedge

Roof Wedge
SF : 1.329



Sebelum

Roof Wedge
SF : 1.691



Sesudah

4.6 Evaluasi Penyangga Kayu

4.6.1 Tegangan Izin Kayu

Dari informasi yang didapat dari perusahaan, kayu yang digunakan dalam penyanggan di SD-C2 adalah jenis kayu *Akasia*. Dari Hasil pengujian berat jenis kayu dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 14. Berat Jenis Kayu Penyangga

Kode Sampel	volume awal	volume akhir	volume sampel	berat sampel	berat jenis
sampel 1	600	660	60	32.2	0.54
sampel 2	600	650	50	24.3	0.49
sampel 3	600	640	40	25.3	0.63
Rata-rata					0.55

Dari hasil analisis didapatkan berat jenis kayu yaitu 0,55 termasuk dalam kayu kelas III. Kemudian dilakukan

interpolasi untuk mendapatkan kekuatan lengkung kayu (osf).

Tabel 15. Kelas Kayu Penyangga

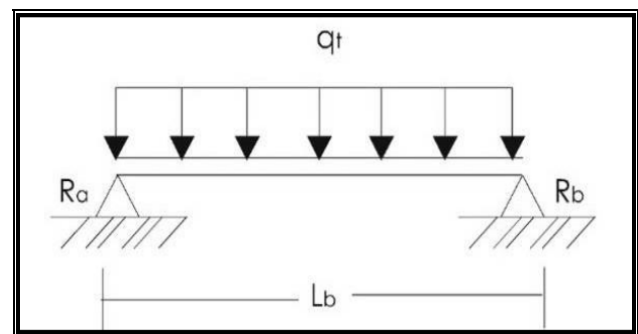
Kelas Kuat	Berat Jenis	Kekuatan Lengkung (Kg/cm ²)	Kekuatan Tekan (Kg/cm ²)
I	> 0,90	> 1100	> 650
II	0,90 – 0,60	1100 – 725	650 – 425
III	0,60 – 0,40	725 – 500	425 – 300
IV	0,40 – 0,30	500 – 360	300 – 215
V	< 0,30	< 360	< 215

$$\begin{aligned} \text{Kuat lengkung kayu} &= 500 + \left(\frac{y}{z}\right) \times m \\ &= 500 + \left(\frac{0,15}{0,2}\right) \times 225 \\ &= 668,75 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan kayu} &= 300 + \left(\frac{y}{z}\right) \times m \\ &= 300 + \left(\frac{0,05}{0,2}\right) \times 125 \\ &= 393,75 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa kayu yang digunakan dalam melakukan penyanggan pada terowongan adalah kayu kelas III dengan kuat lengkung kayu 668,75 Kg/cm² dan kuat tekan kayu 393,75 Kg/cm².

4.6.2 Tegangan Pada Cap



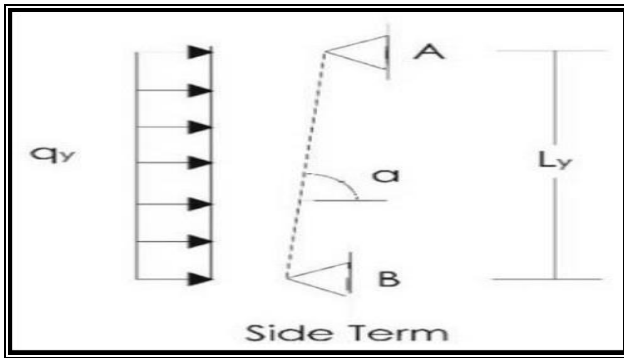
Gambar 9. Tegangan pada Cap

Dari hasil pengukuran tegangan pada cap didapatkan tegangan perlekungan di RMR 61,63, dan 66 seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 16. Tegangan Perlengkungan pada Cap

Nilai RMR	a cm	qt kg/cm	Mmax kgcm	W cm ³	σb kg/cm ²
66	201	42.7125	333691.4	785	425.0846
63	201	46.48125	363134.8	785	462.5921
61	201	48.99375	382763.7	785	487.597

4.6.3 Tegangan Pada Side Post



Gambar 10. Tegangan pada Side Post

Dari analisis tegangan pada *side post* didapatkan tegangan perlekungan pada nilai RMR 61,63, dan 66 seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 17. Tegangan Perlekungan pada Side Post

Nilai RMR	k	σ_v t/m ²	σ_h t/m ²	a m	w	σ_b t/m ²	σ_b kg/cm ²
66	0.22	2.12	0.47	2.01	1.52	581.88	58.19
63	0.22	2.31	0.51	2.01	1.52	633.23	63.32
61	0.22	2.43	0.54	2.01	1.52	667.45	66.75

4.7 Faktor Keamanan

Nilai FK merupakan perbandingan antara kemampuan menahan dan beban yang diterima. Berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 1827K/30/MEM/2018 tentang pedoman pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik, disebutkan bahwa nilai faktor keamanan pada setiap terowongan sekurang-kurangnya adalah 1,5.

- a. Perhitungan Faktor Keamanan pada *cap*

$$FK = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_b}$$

- b. Perhitungan faktor Keamanan pada *Side Post*

$$FK = \frac{\sigma_{sf}}{\sigma_n \pm \sigma_b}$$

Keterangan

σ_{sf} = Tegangan izin kayu (kg/cm²)

σ_b = Tegangan perlekungan pada *Cap* (kg/cm²)

$\sigma_n \pm \sigma_b$ = Tegangan pada *side post* (kg/cm²)

4.7.1 Faktor Keamanan Aktual pada Cap

Nilai FK (Faktor keamanan) pada *cap* merupakan hasil pembagian antara kekuatan lengkung kayu dan tegangan perlekungan kayu dengan kuat lengkung kayu yaitu 668,75 kg/cm².

Tabel 18. Nilai FK aktual pada Cap

Nilai RMR	a (cm)	σ_b (kg/cm ²)	σ_{sf} (kg/cm ²)	FK
66	201	425.08	668.75	1.57
63	201	462.59	668.75	1.45
61	201	487.60	668.75	1.37

Dari hasil perhitungan didapatkan pada RMR 61 dan 63 nilai $FK < 1,5$ maka perlu dilakukan analisis untuk jarak penyangga stabil berdasarkan nilai RMR.

4.7.2 Faktor Keamanan Aktual pada SidePost

Perhitungan nilai FK pada bagian *side post* merupakan hasil pembagian dari kekuatan tekan kayu dan tegangan yang timbul dengan nilai kuat tekan kayu yaitu 393,75 kg/cm².

Tabel 19. Nilai FK pada Side Post

Nilai RMR	a (cm)	σ_b (kg/cm ²)	σ_{sf} (kg/cm ²)	FK
66	201	58.19	393.75	6.77
63	201	63.32	393.75	6.22
61	201	66.75	393.75	5.90

4.7.3 Evaluasi Penyangga Stabil

Evaluasi dilakukan untuk mendapatkan jarak penyangga stabil berdasarkan nilai RMR. Analisis dilakukan pada penyangga bagian *Cap* dengan nilai RMR 61,63 dan 66 seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 20. Jarak Penyangga Stabil pada Cap

Nilai RMR	a (cm)	σ_b (kg/cm ²)	σ_{sf} (kg/cm ²)	FK
66	211	446.23	668.75	1.50
63	194	446.48	668.75	1.50
61	184	446.36	668.75	1.50

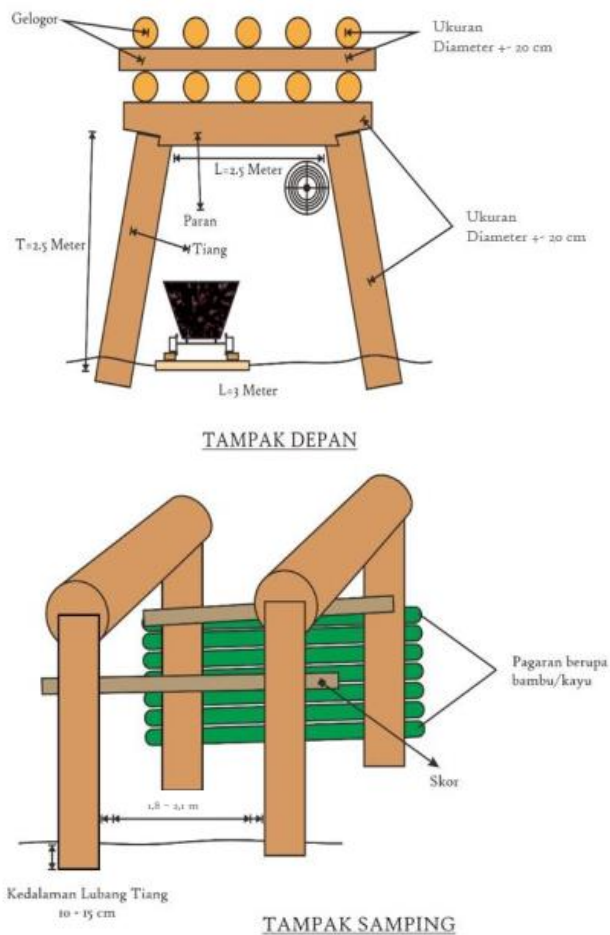
Dari hasil perhitungan jarak penyangga stabil yang dilakukan pada analisis penyangga bagian *Cap* akan digunakan di bagian *Side Post* untuk menganalisis bagaimana pengaruh dari perubahan jarak penyangga stabil pada *Cap* terhadap nilai FK pada *Side Post*. Berikut adalah hasil analisis rekomendasi jarak penyangga stabil seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 21. Jarak Penyangga Stabil pada Side Post

Nilai RMR	a (cm)	σ_b (kg/cm ²)	σ_{sf} (kg/cm ²)	FK
66	211	61.08	393.75	6.45
63	194	61.12	393.75	6.44
61	184	61.10	393.75	6.44

Dari hasil analisis didapatkan kesimpulan bahwa dengan menggunakan jarak penyangga stabil pada *Cap* nilai FK *Side Post* $> 1,5$ dikategorikan aman sehingga jarak penyangga tersebut bisa digunakan dan diaplikasikan di lapangan.

4.8 Desain Rekomendasi Penyangga Kayu



3. Dari hasil analisis nilai FK (faktor keamanan) pada lubang maju SD-C2 Lori 1, dengan menggunakan nilai RMR terendah yaitu 61 didapatkan FK 1,329. Dari hasil analisis dengan menggunakan ground suport berdasarkan RMR nilai FK naik menjadi 1,691.
4. analisis penyangga kayu untuk perkuatan lubang bukaan adalah sebagai berikut:
 - a. Metode penggalian, *Top heading and bench* 1.5 - 3 m kemajuan pada *top heading*, penyangga setelah peledakan. Penyanggaan penuh 10 m dari *face*.
 - b. Baut Batuan (diameter 20 mm, *fully grouted*), baut batuan panjang 4m, spasi 1.5 - 2 m pada dinding dan atap, serta pemasangan *wire mesh*
 - c. Beton Tembak (*Shotcrete*), tebal 50-100 mm pada atap dan 30 mm pada dinding
 - d. *Stell Set*, tidak dibutuhkan
 - e. Penyangga Kayu, Bentuk rekomendasi penyangga kayu adalah *Three Piece Set*. Dari hasil perhitungan dianjurkan lubang bukaan menggunakan kayu kelas III berdiameter ± 20 cm dengan dimensi penyangga kayu yang diberikan adalah tinggi 2,5 m, lebar 3 m, lebar *Cap* 2,5 m, jarak antar penyangga 1 - 1,5 m.
5. Dari hasil analisis dengan menggunakan jarak penyangga 2.01 m maka pada nilai RMR 61 sampai 63 nilai FK $< 1,5$ maka perlu dilakukan analisis terhadap jarak penyangga stabil.
6. Dari hasil analisis didapatkan jarak penyangga stabil digunakan pada RMR 61-66 berada pada rentang 1,8 m - 2,1 m.

5.2 Saran

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Nilai Karakteristik Batuan Aktual di Terowongan SD-C2 Lori 1
 - a. Nilai rata-rata bobot isi batubara adalah sebesar $1,32 \text{ gr/cm}^2$ dan *Siltstone* memiliki bobot isi rata-rata sebesar $2,50 \text{ gr/cm}^2$
 - b. Rata-rata nilai *Point Load Index* batubara adalah sebesar 1,12 MPa dan *Siltstone* adalah 2.19 MPa
 - c. Dari hasil konversi nilai Is ke UCS didapatkan nilai UCS batubara adalah 13,18 MPa dan nilai UCS *Siltstone* adalah 25,85 MPa.
2. Berdasarkan hasil pembobotan kelas massa batuan menggunakan *RMR-system* diketahui kelas massa batuan dari batubara diambil dari nilai RMR terkecil yaitu 53 yang mengindikasikan batubara termasuk batuan kelas III., dan Nilai RMR terkecil dari *Siltstone* adalah 61 mengindikasikan batuan kelas II. Nilai *Stand Up Time* dari dinding batubara adalah 700 jam atau 29 Hari dan atap lubang bukaan adalah 6700 jam atau 279 Hari dengan *Span* rencana lubang maju produksi adalah sebesar 3 meter.

1. Dari hasil pengukuran di lapangan jarak antar penyangganya adalah 2,01 m, hal ini sudah melebihi SOP perusahaan yang menetapkan jarak antar penyangga 1 -1,5 m. maka perlu dilakukan penyesuaian SOP dari penyangga kayu agar beban yang diterima penyangga bagian atap tidak terlalu besar mengingat semakin dalamnya aktivitas penambangan.
2. Pemasangan *Ground Support* yang direkomendasikan diusahakan sesuai seperti desain model yang telah dirancang.
3. Apabila rekomendasi *Ground Support* berdasarkan *RMR-System* tidak bisa dijalankan dikarenakan masalah biaya, maka rekomendasi alternatif adalah dengan menggunakan penyangga kayu.
4. Penelitian pada skripsi ini dilakukan pada pembahasan yang terbatas, oleh sebab itu diperlukan penyelidikan lanjutan karena perubahan kondisi dari ke dalam lubang bukaan dan juga struktur geologi yang sewaktu-waktu dapat berubah.

Daftar Pustaka

- [1] Abbas, Syed Muntazir. 2000. *Rock Mass Clasification Systems*.
- [2] Arif Irwandi. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [3] Astawe, Made R., Kramadibrata Suseno, and Kresna, Ridho W. 2010. *Mekanika Batuan*. Bandung : ITB.
- [4] Akbar, M. D., Heriyadi, B., & Ansosry, A. (2019). Analisis Kestabilan Tunnel Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika (RMR-System) Pada Penambangan Batubara Bawah Tanah Metoda Room and Pillar PT. Allied Indo Coal Jaya (AICJ) Sawahlunto. *Bina Tambang*, 4(3), 247-259.
- [5] Alfathoni, F., Komar, S., & Suwardi, F. R. (2017). Evaluasi Teknis Sistem Penyanggaan Menggunakan Metode Rock Mass Rating (Rmr) System Pada Development Area (Ckn_Dc) Tambang Emas Bawah Tanah Pt. Cibaliung Sumberdaya. *Jurnal Pertambangan*, 1(2).
- [6] Eli Ambarini. 2015. *Sistem Stabilitas Lubang Bukaannya Pengembangan Dengan Menggunakan Baut Batuan (Rockbolt) dan Beton Tembak (Shotcrete) di SBlok Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten*. Prosiding Teknik Pertambangan. Gel. 2: 168-177.
- [7] Koppa. Raimon. 1990. *Bahan Ajar Studi Teknik Terowongan*. Padang: FT UNP.
- [8] Karaman, K., Kaya, A., & Kesimal, A. (2015). *Use of the point load index in estimation of the strength rating for the RMR system*. *Journal of African Earth Sciences*, 106, 40-49.
- [9] Kulatilake, P. H. S. W., Wu, Q., Yu, Z., & Jiang, F. (2013). *Investigation of stability of a tunnel in a deep coal mine in China*. *International Journal of Mining Science and Technology*, 23(4), 579–589.
- [10] Karaman, K., Kaya, A., & Kesimal, A. (2015). *Use of the point load index in estimation of the strength rating for the RMR system*. *Journal of African Earth Sciences*, 106, 40-49.
- [11] Prengki, I., & Heriyadi, B. (2018). Analisis Beban Runtuh Dan Evaluasi Lubang Bukaannya Berdasarkan Metode Rock Mass Rating Dan Q-System Pada Tambang Bawah Tanah CV. Bara Mitra Kencana, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 3(4), 1729-1739.
- [12] Palmstrom, A., 1996. *Characterizing Rock Masses by the RMI for Use in Practical Rock Engineering*. *Journal of Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 175-188, 1996
- [13] Rehman, H., Naji, A. M., Kim, J., & Yoo, H. (2019). *Extension of tunneling quality index and rock mass rating systems for tunnel support design through back calculations in highly stressed jointed rock mass: An empirical approach based on tunneling data from Himalaya*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 85, 29–42.
- [14] Sutanti, A., & Wijaya, P. (2016). Rancangan Teknis Penyanggaan Berdasarkan Kelas Massa Batuan Dengan Menggunakan Metode RMR dan Q-System di Terowongan Gudang Handak dan Pasir Jawa UBPE Pongkor PT. Aneka Tambang Persero Tbk. ReTII.
- [15] Sutanti, A., Nagara, B. D., Wiyono, B., & Wijaya, R. A. E. (2018). Analisis Kestabilan Terowongan di Tambang Bawah Tanah Cross Cut 7 PT. Cibaliung Sumberdaya Pandeglang Banten. ReTII.
- [16] Sugiono. 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- [17] Tobing, R. F. L., Pradani, D. I., & KP, R. H. (2015). Analisis Kestabilan Lubang Bukaannya Dan Pillar Dalam Rencana Pembuatan Tambang Bawah Tanah Batugamping Dengan Metode Room And Pillar Di Desa Sidorejo Kecamatan Lendah Kab. Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta. ReTII.
- [18] Xing, Y., Kulatilake, P. H. S. W., & Sandbak, L. A. (2018). *Effect of rock mass and discontinuity mechanical properties and delayed rock supporting on tunnel stability in an underground mine*. *Engineering Geology*, 238, 62-75.